

PAT-NO: JP411185224A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11185224 A

TITLE: PRODUCTION OF THIN-FILM MAGNETIC HEAD

PUBN-DATE: July 9, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SHIMAZAWA, KOJI	N/A
OTA, MANABU	N/A
SASAKI, TETSUO	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TDK CORP	N/A

APPL-NO: JP09365966

APPL-DATE: December 24, 1997

INT-CL (IPC): G11B005/39

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a process for producing a thin-film magnetic head capable of more stably holding a pinned direction with respect to applying of heat.

SOLUTION: A spin valve MR(magneto-resistive) element including a nonmagnetic layer 11, first and second ferromagnetic layers 10, 12 laminated across this nonmagnetic layer 11 and a antiferromagnetic layer 13 laminated on the surface of the second ferromagnetic layer 12 on the side opposite to the nonmagnetic layer 11 is formed. This spin valve MR element is subjected to a heat treatment (pin annealing treatment) in a state of applying the magnetic field in a prescribed direction thereon so as to intensity the exchange bonding of the second ferromagnetic layer 12 and the antiferromagnetic layer 13.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-185224

(43)公開日 平成11年(1999)7月9日

(51)Int.Cl.⁸

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平9-365966

(22)出願日 平成9年(1997)12月24日

(71)出願人 000003067

ティーディーケイ株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72)発明者 島沢 幸司

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー
ディーケイ株式会社内

(72)発明者 太田 学

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー
ディーケイ株式会社内

(72)発明者 佐々木 徹郎

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー
ディーケイ株式会社内

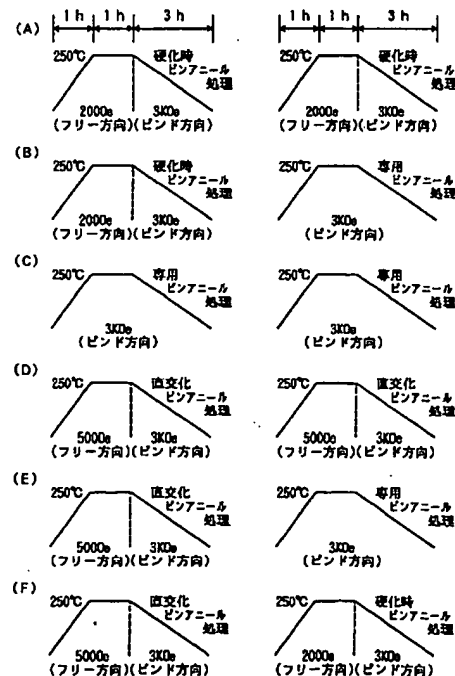
(74)代理人 弁理士 山本 恵一

(54)【発明の名称】 薄膜磁気ヘッドの製造方法

(57)【要約】

【課題】 熱の印加に対して、ビンド方向をより安定に保持することができる薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供する。

【解決手段】 非磁性層と、非磁性層を挟んで積層された第1及び第2の強磁性層と、第2の強磁性層の非磁性層とは反対側の面に積層された反強磁性層とを含むスピナバルブMR素子を形成した後、第2の強磁性層と反強磁性層との交換結合を強化させるようにスピナバルブMR素子に所定方向の磁界を印加した状態で熱処理（ビンアニール処理）を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 スピンバルブ磁気抵抗素子を備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、該スピンバルブ磁気抵抗素子にピンド方向を付与する熱処理をウエハ段階において複数回行うようにしたことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項2】 非磁性層と、該非磁性層を挟んで積層された第1及び第2の強磁性層と、該第2の強磁性層の前記非磁性層とは反対側の面に積層された反強磁性層とを含むスピンバルブ磁気抵抗素子を形成した後、前記第2の強磁性層と前記反強磁性層との交換結合を強化させるように該スピンバルブ磁気抵抗素子に所定方向の磁界を印加した状態で熱処理を行う薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、前記所定方向の磁界を印加した状態での熱処理を、ウエハ段階において複数回行うようにしたことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項3】 前記所定方向の磁界を印加した状態での熱処理が、他の工程とは独立した専用の磁界中熱処理工程で行われることを特徴とする請求項2に記載の製造方法。

【請求項4】 前記所定方向の磁界を印加した状態での熱処理が、他の熱処理工程の一部で行われることを特徴とする請求項2に記載の製造方法。

【請求項5】 前記所定方向の磁界を印加した状態での熱処理が、他の工程とは独立した専用の磁界中熱処理工程と、他の熱処理工程の一部とで行われることを特徴とする請求項2に記載の製造方法。

【請求項6】 前記専用の磁界中熱処理工程が、ピンド方向に磁界を印加した状態で、所定の温度まで昇温して該温度を保持した後室温まで降温する磁界中熱処理工程であることを特徴とする請求項3又は5に記載の製造方法。

【請求項7】 前記他の熱処理工程が、前記第1の強磁性層の磁気異方性付与工程であることを特徴とする請求項4又は5に記載の製造方法。

【請求項8】 前記磁気異方性付与工程が、異方性を付与すべき方向に磁界を印加した状態で所定の温度まで昇温して該温度を保持する処理を含んでおり、前記所定方向の磁界を印加した状態での熱処理が、ピンド方向に磁界を印加した状態で前記保持している温度から室温まで降温する磁界中熱処理工程であることを特徴とする請求項7に記載の製造方法。

【請求項9】 前記他の熱処理工程が、レジスト膜の硬化工程であることを特徴とする請求項4又は5に記載の製造方法。

【請求項10】 前記レジスト膜の硬化工程が、所定の温度まで昇温して該温度を保持する処理を含んでおり、前記所定方向の磁界を印加した状態での熱処理が、ピンド方向に磁界を印加した状態で前記保持している温度から室温まで降温する磁界中熱処理工程であることを特徴

とする請求項9に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ハードディスク装置(HDD)に用いられる薄膜磁気ヘッド、特にスピンバルブを利用した磁気抵抗(MR)素子を備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、HDDの高密度化に伴って高感度及び高出力の磁気ヘッドが要求されており、このような要求に答えるものとして、巨大磁気抵抗効果を呈する素子の1つであるスピンバルブを利用したMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドが提案されている(特公平8-21166号公報、特開平6-236527号公報)。スピンバルブは、2つの強磁性薄膜層を非磁性金属層で磁気的に分離してサンドイッチ構造とし、その一方の強磁性薄膜層に反強磁性薄膜層を積層することによってその界面で生じる交換バイアス磁界をこの一方の強磁性薄膜層(ピンニングされる層、本明細書ではピンド(pinned)層と称する)に印加するようにしたものである。交換バイアス磁界を受けるピンド層と受けない他方の強磁性薄膜層(本明細書ではフリー(free)層と称する)とでは磁化反転する磁界が異なるので、非磁性金属層を挟むこれら2つの強磁性薄膜層の磁化の向きが平行、反平行と変化し、これにより電気抵抗率が大きく変化するので巨大磁気抵抗効果が得られる。

【0003】スピンバルブMR素子の出力特性等は、非磁性金属層を挟むこれら2つの強磁性薄膜層(ピンド層及びフリー層)の磁化のなす角度によって定まる。フリー層の磁化方向は磁気媒体からの磁界の方向に従って容易に向く。一方、ピンド層の磁化方向は反強磁性薄膜層との交換結合により一方向(ピンニングされる方向、本明細書ではピンド方向と称する)に制御される。

【0004】この種の薄膜磁気ヘッドにおいては、何らかの理由でスピンバルブMR素子のピンド方向が変化することがある。ピンド方向が変わると、ピンド層とフリー層との磁化のなす角度も変わり、その結果、出力特性等も変わってしまう。従ってスピンバルブMR素子を有する薄膜磁気ヘッドにおいては、ピンド方向が正しく制御されていることが非常に重要となる。

【0005】反強磁性薄膜層とピンド層との間に強い交換結合を持たせてピンド方向を安定化させるためには、所定方向の磁界中での熱処理(ピンアニール)が行われる。ピンアニールは、一般に、500Oe～3KOeの磁界中において反強磁性材料のネール温度程度まで昇温し、30分～5時間程度その温度を保持した後降温させることによってなされる。このピンアニールによって、反強磁性薄膜層に接するピンド層の磁化方向に沿って交換結合が発生する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このようなピンアニールを行った場合にも、高温状態で使用した場合、ヘッドの諸特性に変動が生じることがある。これは、熱とフリー層の磁区を制御するために用いられるハードマグネットからの磁界とによりビンド方向が変化してしまうことによって起こる現象である。

【0007】以下この現象について説明する。ピンアニールによって付与されたビンド方向は、ハードマグネットが作る磁界(H_{HN})と異なる方向となっている。このため、反強磁性薄膜層と接するビンド層の磁化方向はビンド方向とは異なり、磁界 H_{HN} の方向に多少回転している(このときの磁化方向を θ_P とする)。反強磁性薄膜層内では、ネール温度がミクロな領域毎に互いに異なっており、温度分布を有している。従って、バルク状態におけるネール温度以下の状態であってもビンド層との交換結合状態を消失してしまう小領域が存在することとなる。スピンバルブMR素子が温度Tの高温状態(反強磁性材料の全ての小領域が交換結合状態を消失してしまうブロッキング温度以下)で使用され、その後室温まで冷却されたとき、温度T以下のネール温度を有する小領域は θ_P 方向に再ピンアニールされることとなる。反強磁性材料の θ_P 方向に再ピンアニールされた成分量に応じて、反強磁性薄膜層の磁氣的構造が変化し、膜全体の新たなビンド方向が決まることとなる。

【0008】以上のように、高温状態での使用により当初のピンアニール後にビンド方向が変化し、そのことが出力の劣化や出力波形の対称性の劣化等を引き起こしてしまう。

【0009】従って本発明は、従来技術の上述した問題を解消するものであり、その目的は、熱の印加に対して、ビンド方向をより安定に保持することができる薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、スピンバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法として、スピンバルブMR素子にビンド方向を付与する熱処理(ピンアニール処理)をウエハ段階において複数回行うようにした製造方法が提供される。

【0011】より詳細には、本発明によれば、非磁性層と、非磁性層を挟んで積層された第1及び第2の強磁性層と、第2の強磁性層の非磁性層とは反対側の面に積層された反強磁性層とを含むスピンバルブMR素子を形成した後、第2の強磁性層と反強磁性層との交換結合を強化させるようにスピンバルブMR素子に所定方向の磁界を印加した状態で熱処理(ピンアニール処理)を行う薄膜磁気ヘッドの製造方法として、上述のピンアニール処理を、ウエハ段階において複数回行うようにした製造方法が提供される。

【0012】ウエハ段階(ウエハ上でのスピンバルブ積層体の成膜からウエハをバーに切断する直前までを示し

ている)において、ピンアニール処理を複数回行うことにより、より強固な交換結合を得ることができ、雰囲気温度が高温となっても、ビンド方向をより安定に保持できるスピンバルブMR素子を提供することが可能となる。ビンド方向が安定化することにより、高温使用時における出力変動や出力波形の対称性の変動を防止することができる。

【0013】ピンアニール処理が、他の工程とは独立した専用の磁界中熱処理工程で行われるか、他の熱処理工程の一部で行われるか、又は他の工程とは独立した専用の磁界中熱処理工程と、他の熱処理工程の一部とで行われることが好ましい。

【0014】専用の磁界中熱処理工程が、ビンド方向に磁界を印加した状態で、所定の温度(反強磁性層のネール温度である150~300℃程度)まで昇温してこの温度を保持した後室温(20~30℃程度)まで降温する磁界中熱処理工程であることが好ましい。

【0015】他の熱処理工程が、第1の強磁性層の磁気異方性付与工程であることが好ましい。この磁気異方性付与工程が、異方性を付与すべき方向に磁界を印加した状態で所定の温度まで昇温してこの温度を保持する処理を含んでおり、ピンアニール処理が、ビンド方向に磁界を印加した状態で保持している温度から室温(20~30℃程度)まで降温する磁界中熱処理工程であるかもしれない。

【0016】他の熱処理工程が、レジスト膜の硬化工程であることが好ましい。このレジスト膜の硬化工程が、所定の温度まで昇温してこの温度を保持する処理を含んでおり、ピンアニール処理が、ビンド方向に磁界を印加した状態で保持している温度から室温(20~30℃程度)まで降温する磁界中熱処理工程であるかもしれない。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明によって製造される薄膜磁気ヘッドのスピンバルブMR素子に設けられたスピンバルブ積層体の基本構造を示す断面図であり、同図において、10及び12は2つの強磁性薄膜層であり、この強磁性薄膜層10及び12は非磁性金属層11で磁氣的に分離してサンドイッチ構造とされている。強磁性薄膜層12上には反強磁性薄膜層13が積層されており、その界面で生じる交換バイアス磁界がこの強磁性薄膜層(ビンド層)12に印加されてピンニングされる。強磁性薄膜層10は交換バイアス磁界が印加されないフリー層である。本発明によって製造されるスピンバルブ積層体の膜構成及び膜厚は、これに限定されるものではないが、例えばフリー層10/非磁性金属層11/ビンド層12/反強磁性薄膜層13が、NiFe(90Å)/Co(10Å)/Cu(25Å)/Co(20Å)/RuRhMn(100Å)である。

【0018】本発明の製造方法における、このようなス

ピンバルブ積層体及びその他の構成部分の製造工程は、ウエハ段階におけるアニール処理工程を除いて、一般的な製造工程とはほぼ同様である。従って、以下アニール処理工程のみについて詳細に説明する。

【0019】図2は、本発明の種々の実施形態におけるアニール処理工程を示す図であり横軸は時間の経過、縦軸は印加される温度をそれぞれ示している。

【0020】同図(A)の実施形態は、スピンバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。複合型薄膜磁気ヘッドのウエハ段階においては、一般に、ウエハ上に多数のスピンバルブMR素子を形成した後、それらの上にインダクティブ素子を形成することが行われる。本実施形態では、このインダクティブ素子のコイル部分の1層目及び2層目の絶縁層を形成する際のレジストの硬化処理工程を利用したピンアニール処理（以下、硬化時ピンアニール処理と称する）を2回行っている。

【0021】即ち、1層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、1層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をピン方向（通常はフリー方向と直交する方向）に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とピン層との間に交換結合が生じる。

【0022】同様に、2層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、2層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をピン方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、2回の硬化時ピンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもピン方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0023】本実施形態のごとく処理を行ったスピンバルブ積層体に対して、磁気ヘッドの実際の使用時の環境温度に近い125℃の温度、1900eのフリー方向の磁界を100時間印加した場合、ピン方向の回転角度は7°であった。従来技術のように、ピンアニール処理を1回のみ行ったスピンバルブ積層体に対して同じ条件を与えた場合、ピン方向の回転角度は13°であった。従って、2回の硬化時ピンアニール処理を行うことにより、スピンバルブ積層体のピン方向は、雰囲気温度の高温への変化に対してより安定化することとなる。

【0024】なお、ピン方向の回転角度は、スピンバ

ルブMR素子の出力から容易に算出することが可能である。即ち、図5(A)に示すように、ウエハ50に対してピンアニール処理時に与えたピン方向51と直交する方向52に磁界を印加して ρ -Hループを測定する。ピン方向の回転がない場合は、図5(B)に示すように ρ -Hループは左右対称となる。ピン方向の回転が起こった場合は、図5(C)に示すように、左右非対称となりこの回転したピン方向53と測定印加磁界の方向52とのなす角度を θ_p とすると、 $(E_1 - E_0) / (E_2 - E_0) = \{ (1 - \cos \theta_p) / 2 \} / \{ (1 + \cos \theta_p) / 2 \}$ となる。従って、 $\theta_p = \cos^{-1} \{ (E_1 - E_0) / (E_2 - E_1 + 2E_0) \}$ となる。ピン方向の回転角度は、 $90^\circ - \theta_p$ で与えられる。

【0025】図2(B)の実施形態も、スピンバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、インダクティブ素子のコイル部分の絶縁層に関する1回の硬化時ピンアニール処理を行い、その後、独立した別個の1回のピンアニール処理（以下、専用ピンアニール処理と称する）を行うことにより計2回のピンアニール処理を行っている。

【0026】即ち、コイル部分の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をピン方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この硬化時ピンアニール処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とピン層との間に交換結合が生じる。

【0027】この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をピン方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。これにより、1回の硬化時ピンアニール処理及び1回の専用ピンアニール処理の計2回のピンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもピン方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ピンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0~50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0028】本実施形態におけるピン方向の回転角度等の効果は、図2(A)の実施形態の場合と同様である。

【0029】図2(C)の実施形態は、スピンバルブM

R素子を備えた薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、2回の専用ビンアニール処理を行っている。

【0030】即ち、スピバルブ積層体を形成した後の任意の段階で又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K Oeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する専用ビンアニール処理を2回行う。この専用ビンアニール処理は連続して行ってもよいし、その間に他の工程が行ってもよい、2回のビンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ビンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0～50℃下回った温度であつてもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0031】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果も、図2(A)の実施形態の場合と同様である。

【0032】図2(D)の実施形態は、スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドにおいては、一般に、ウエハ段階で、フリー層に磁気異方性を付与することが行われる。本実施形態では、この磁気異方性付与工程を利用したビンアニール処理（以下、直交化ビンアニール処理と称する）を2回行っている。

【0033】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K Oeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0034】同様にして、フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K Oeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、2回の直交化ビンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0035】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図2(A)の実施形態の場合と同様であ

る。

【0036】図2(E)の実施形態も、スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、1回の直交化ビンアニール処理を行い、その後、1回の専用ビンアニール処理を行うことにより計2回のビンアニール処理を行っている。

【0037】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K Oeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0038】この直交化ビンアニール処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K Oeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。これにより、1回の直交化ビンアニール処理及び1回の専用ビンアニール処理の計2回のビンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ビンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0～50℃下回った温度であつてもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0039】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図2(A)の実施形態の場合と同様である。

【0040】図2(F)の実施形態は、スピバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、1回の直交化ビンアニール処理を行い、その後、インダクティブ素子のコイル部分の絶縁層に関する1回の硬化時ビンアニール処理を行うことにより計2回のビンアニール処理を行っている。

【0041】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K Oeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生

じる。

【0042】次いで、コイル部分の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビン

ド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、1回の直交化ビンアニール処理及び1回の硬化時ビンアニール処理の計2回のビンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となつてもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0043】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図2(A)の実施形態の場合と同様である。

【0044】図3は、本発明の他の種々の実施形態におけるアニール処理工程を示す図であり横軸は時間の経過、縦軸は印加される温度をそれぞれ示している。

【0045】同図(A)の実施形態は、スピンバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。複合型薄膜磁気ヘッドのウエハ段階においては、一般に、ウエハ上に多数のスピンバルブMR素子を形成した後、それらの上にインダクティブ素子を形成することが行われる。本実施形態では、このインダクティブ素子の2段のコイル部分の1層目、2層目及び3層目の絶縁層を形成する際のレジストの硬化処理工程を利用した硬化時ビンアニール処理を3回行っている。

【0046】即ち、1層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、1層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向（通常はフリー方向と直交する方向）に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でビンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0047】同様に、2層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、2層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。さらに、3層目の絶縁層を形成する際に、同様のビンアニール処理を行う。これにより、3回の硬化時ビンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰

囲気温度が高温となつてもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。

【0048】本実施形態のごとく処理を行ったスピンバルブ積層体に対して、磁気ヘッドの実際の使用時の環境温度に近い125℃の温度、1900eのフリー方向の磁界を100時間印加した場合、ビンド方向の回転角度は3°であった。従来技術のように、ビンアニール処理を1回のみ行ったスピンバルブ積層体に対して同じ条件を与えた場合、先に述べたように、ビンド方向の回転角度は13°であった。従って、3回の硬化時ビンアニール処理を行うことにより、スピンバルブ積層体のビンド方向は、雰囲気温度の高温への変化に対してさらに安定化することとなる。

【0049】図3(B)の実施形態も、スピンバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、インダクティブ素子のコイル部分の1層目及び2層目の絶縁層に関する2回の硬化時ビンアニール処理を行い、その後、独立した別個の1回の専用ビンアニール処理を行うことにより計3回のビンアニール処理を行っている。

【0050】即ち、コイル部分の1層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この硬化時ビンアニール処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でビンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0051】同様に、2層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、2層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、より強固なかつ雰囲気温度が高温となつてもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0052】さらに、この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。これにより、2回の硬化時ビンアニール処理及び1回の専用ビンアニール処理の計3回のビンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となつてもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専

用ピンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0〜50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0053】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0054】図3(C)の実施形態も、スピバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、インダクティブ素子のコイル部分の絶縁層に関する1回の硬化時ピンアニール処理を行い、その後、独立した別個の専用ピンアニール処理を2回行うことにより計3回のピンアニール処理を行っている。

【0055】即ち、コイル部分の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この硬化時ピンアニール処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0056】この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。さらに、この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、同様の専用ピンアニール処理を行う。これにより、1回の硬化時ピンアニール処理及び2回の専用ピンアニール処理の計3回のピンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ピンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0〜50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0057】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0058】図3(D)の実施形態は、スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、3回の専用ピンアニール処理を行っている。

【0059】即ち、スピバルブ積層体を形成した後の任意の段階で又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する専用ピンアニール処理を3回行う。この専用ピンアニール処理は連続して行ってもよいし、その間に他の工程が行ってもよい、3回のピンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ピンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0〜50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0060】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果も、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0061】図3(E)の実施形態は、スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドにおいては、一般に、ウエハ段階で、フリー層に磁気異方性を付与することが行われる。本実施形態では、この磁気異方性付与工程を利用した直交化ピンアニール処理を2回行い、専用ピンアニール処理を1回行うことにより計3回のピンアニール処理を行っている。

【0062】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0063】同様に、フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、2回の直交化ピンアニール処理が行われるため、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0064】さらに、この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに

13.

室温まで約3時間かけて降温する。これにより、2回の直交化ビンアニール処理及び1回の専用ビンアニール処理の計3回のビンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ビンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0～50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0065】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0066】図3(F)の実施形態も、スピバルブMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、1回の直交化ビンアニール処理を行い、その後、2回の専用ビンアニール処理を行うことにより計3回のビンアニール処理を行っている。

【0067】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、フリー方向に約500Oeの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3KOeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0068】この直交化ビンアニール処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3KOeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。さらに、この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、同様の専用ビンアニール処理を行う。これにより、1回の直交化ビンアニール処理及び2回の専用ビンアニール処理の計3回のビンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。なお、この専用ビンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0～50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0069】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0070】図3(G)の実施形態は、スピバルブM

14

R素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、1回の直交化ビンアニール処理を行い、その後、インダクティブ素子のコイル部分の絶縁層に関する2回の硬化時ビンアニール処理を行うことにより計3回のビンアニール処理を行っている。

【0071】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、フリー方向に約500Oeの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3KOeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0072】次いで、コイル部分の1層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約200Oeの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3KOeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0073】同様に、2層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、2層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約200Oeの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3KOeの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、1回の直交化ビンアニール処理及び2回の硬化時ビンアニール処理の計3回のビンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。

【0074】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0075】図3(H)の実施形態は、スピバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、1回の直交化ビンアニール処理を行い、その後、インダクティブ素子のコイル部分の絶縁層に関する1回の硬化時ビンアニール処理を行い、さらに1回の専用ビンアニールを行うことにより計3回のビンアニール処理を行っている。

【0076】即ち、スピバルブ積層体を形成した後、

フリー方向に約5000eの磁界を印加した状態で、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、フリー層に磁気異方性を与える。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0077】次いで、コイル部分の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。これにより、より強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をより安定に保持できる交換結合が生じる。

【0078】この硬化時ピンアニール処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。これにより、1回の直交化ピンアニール処理、1回の硬化時ピンアニール処理及び1回の専用ピンアニール処理の計3回のピンアニール処理が行われるため、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。なお、専用ピンアニール処理における温度は、反強磁性材料のブロッキング温度を0〜50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができる。温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0079】本実施形態におけるビンド方向の回転角度等の効果は、図3(A)の実施形態の場合と同様である。

【0080】図6及び図7は、以上述べた3回のピンアニール処理によって得られる耐熱性の実験結果を説明するものである。図6はスピナバルブ積層体のベタ膜を用いビンド方向の回転角度について、従来の1回のピンアニール処理を行った場合と本発明により3回のピンアニール処理を行った場合とを比較している。また、図7は実際のMR素子を用いその出力劣化について、従来の1回のピンアニール処理を行った場合と本発明により3回のピンアニール処理を行った場合とを比較している。今回の実験に用いたサンプルとしては、フリー層がNiFe(90Å)及びCo(10Å)/非磁性金属層がCu(25Å)/ビンド層がCo(20Å)/反強磁性薄膜層がRuRhMn(100Å)の膜構成を用いている

が、他の膜構成であっても同様の傾向を有する結果を得ることができる。雰囲気温度は125℃とした。ベタ膜を用いたビンド方向の回転角度は、ハードマグネットからの磁界を模擬するべく、ピンアニール処理後のビンド方向と直交する方向に1900eの磁界を印加して測定を行っている。本発明のように3回のピンアニール処理を行うことによって、雰囲気温度が高温(125℃)となっても、ビンド方向をより安定に保持できることが分かる。さらに、ビンド方向が安定化することにより、高温(125℃)使用時における出力劣化が非常に少ないことも分かる。

【0081】図4は、本発明のさらに他の種々の実施形態におけるアニール処理工程を示す図であり横軸は時間の経過、縦軸は印加される温度をそれぞれ示している。

【0082】同図(A)の実施形態は、スピナバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。複合型薄膜磁気ヘッドのウエハ段階においては、一般に、ウエハ上に多数のスピナバルブMR素子を形成した後、それらの上にインダクティブ素子を形成することが行われる。本実施形態では、このインダクティブ素子の3段のコイル部分の1層目、2層目、3層目及び4層目の絶縁層を形成する際のレジストの硬化処理工程を利用した硬化時ピンアニール処理を4回行っている。

【0083】即ち、1層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、1層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向(通常はフリー方向と直交する方向)に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この磁界中の降温処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とビンド層との間に交換結合が生じる。

【0084】同様に、2層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、2層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をビンド方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。さらに、3層目及び4層目の絶縁層を形成する際に、同様のピンアニール処理を行う。これにより、4回の硬化時ピンアニール処理が行われるため、著しく強固なかつ雰囲気温度が高温となってもビンド方向を著しく安定に保持できる交換結合が生じる。

【0085】本実施形態のごとく処理を行ったスピナバルブ積層体に対して、磁気ヘッドの実際の使用時の環境温度に近い125℃の温度、1900eのフリー方向の

磁界を100時間印加した場合、ピン方向の回転角度は1°であった。従来技術のように、ピンアニール処理を1回のみ行ったスピナバルブ積層体に対して同じ条件を与えた場合、先に述べたように、ピン方向の回転角度は13°であった。従って、4回の硬化時ピンアニール処理を行うことにより、スピナバルブ積層体のピン方向は、雰囲気温度の高温への変化に対して非常に安定化することとなる。

【0086】図4(B)の実施形態も、スピナバルブMR素子及びインダクティブ素子を備えた複合型薄膜磁気ヘッドを製造する場合である。本実施形態では、インダクティブ素子のコイル部分の1層目、2層目及び3層目の絶縁層に関する3回の硬化時ピンアニール処理を行い、その後、独立した別個の1回の専用ピンアニール処理を行うことにより計4回のピンアニール処理を行っている。

【0087】即ち、コイル部分の1層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をピン方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。この硬化時ピンアニール処理により、反強磁性材料のブロッキング温度以下でピンニングしたい方向に磁界が印加されるため、反強磁性薄膜層とピン層との間に交換結合が生じる。

【0088】同様に、2層目の絶縁層を形成する際に、室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持することによって、2層目の絶縁層を形成するレジストを硬化させる。この場合、シールド層の磁区を制御するために約2000eの磁界をフリー方向に印加しておく。次いで、約3K0eの磁界をピン方向に印加しつつ室温まで約3時間かけて降温する。同様の硬化時ピンアニール処理を3層目の絶縁層を形成する際に行う。これにより、さらに強固なかつ雰囲気温度が高温となってもピン方向をさらに安定に保持できる交換結合が生じる。

【0089】さらに、この処理に続いて又は全てのウエハ段階の処理が終了した後に、約3K0eの磁界をピン方向に印加しつつ室温から約250℃まで約1時間かけて昇温し、その約250℃を約1時間保持し、さらに室温まで約3時間かけて降温する。これにより、3回の硬化時ピンアニール処理及び1回の専用ピンアニール処理の計4回のピンアニール処理が行われるため、非常に強固なかつ雰囲気温度が高温となってもピン方向を著しく安定に保持できる交換結合が生じる。なお、専用ピンアニール処理における温度は、反強磁性材料のプロッ

キング温度を0～50℃下回った温度であってもよい。その場合でも、交換結合を強化する効果を得ることができ、温度がより低ければ、磁気ヘッドの他の構成部分への熱によるダメージをその分低減させることができる。

【0090】本実施形態におけるピン方向の回転角度等の効果は、図4(A)の実施形態の場合と同様である。

【0091】上述した種々の実施形態における硬化時ピンアニール処理、専用ピンアニール処理及び直交化ピンアニール処理の印加磁界、印加温度及び印加時間の数値並びにピンアニール処理の回数は、単なる一例であり、薄膜磁気ヘッドの種類及び構造、各層の材質、各層の厚さ、並びに要求されるピン方向の熱変動の安定度等によって種々の値となり得るものである。

【0092】以上述べた実施形態は全て本発明を例示的に示すものであって限定的に示すものではなく、本発明は他の種々の変形態様及び変更態様で実施することができる。従って本発明の範囲は特許請求の範囲及びその均等範囲によってのみ規定されるものである。

【0093】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、ウエハ段階において、ピンアニール処理を複数回行うことにより、より強固な交換結合を得ることができ、雰囲気温度が高温となっても、ピン方向をより安定に保持できるスピナバルブMR素子を提供することが可能となる。ピン方向が安定化することにより、高温使用時における出力変動や出力波形の対称性の変動を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】スピナバルブ積層体の基本構造を示す断面図である。

【図2】本発明の種々の実施形態におけるアニール処理工程を示す図である。

【図3】本発明の他の種々の実施形態におけるアニール処理工程を示す図である。

【図4】本発明のさらに他の種々の実施形態におけるアニール処理工程を示す図である。

【図5】ピン方向の回転角度の求め方を説明する図である。

【図6】図3の種々の実施形態によるアニール処理によって得られる耐熱性について説明する図である。

【図7】図3の種々の実施形態によるアニール処理によって得られる耐熱性について説明する図である。

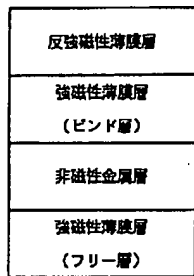
【符号の説明】

10、12 強磁性薄膜層

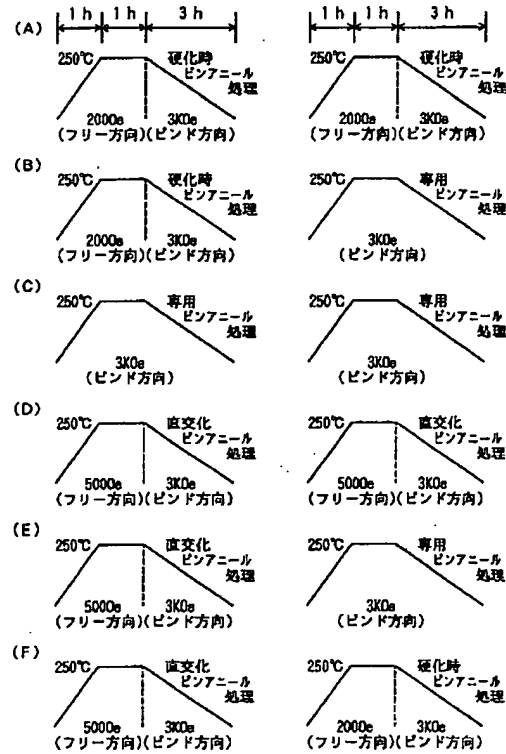
11 非磁性金属層

13 反強磁性薄膜層

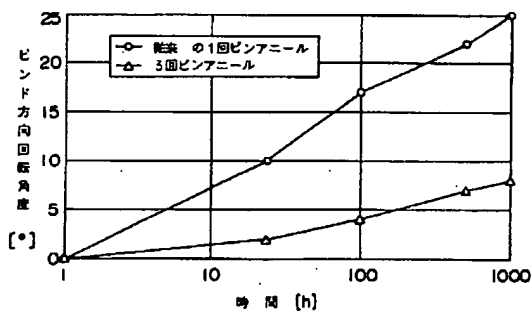
【図1】



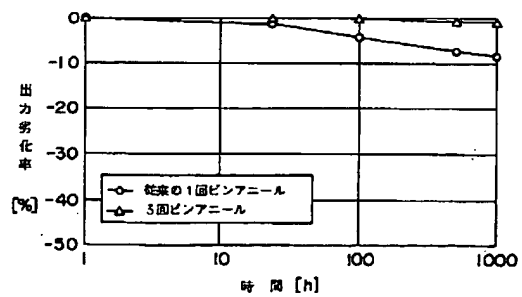
【図2】



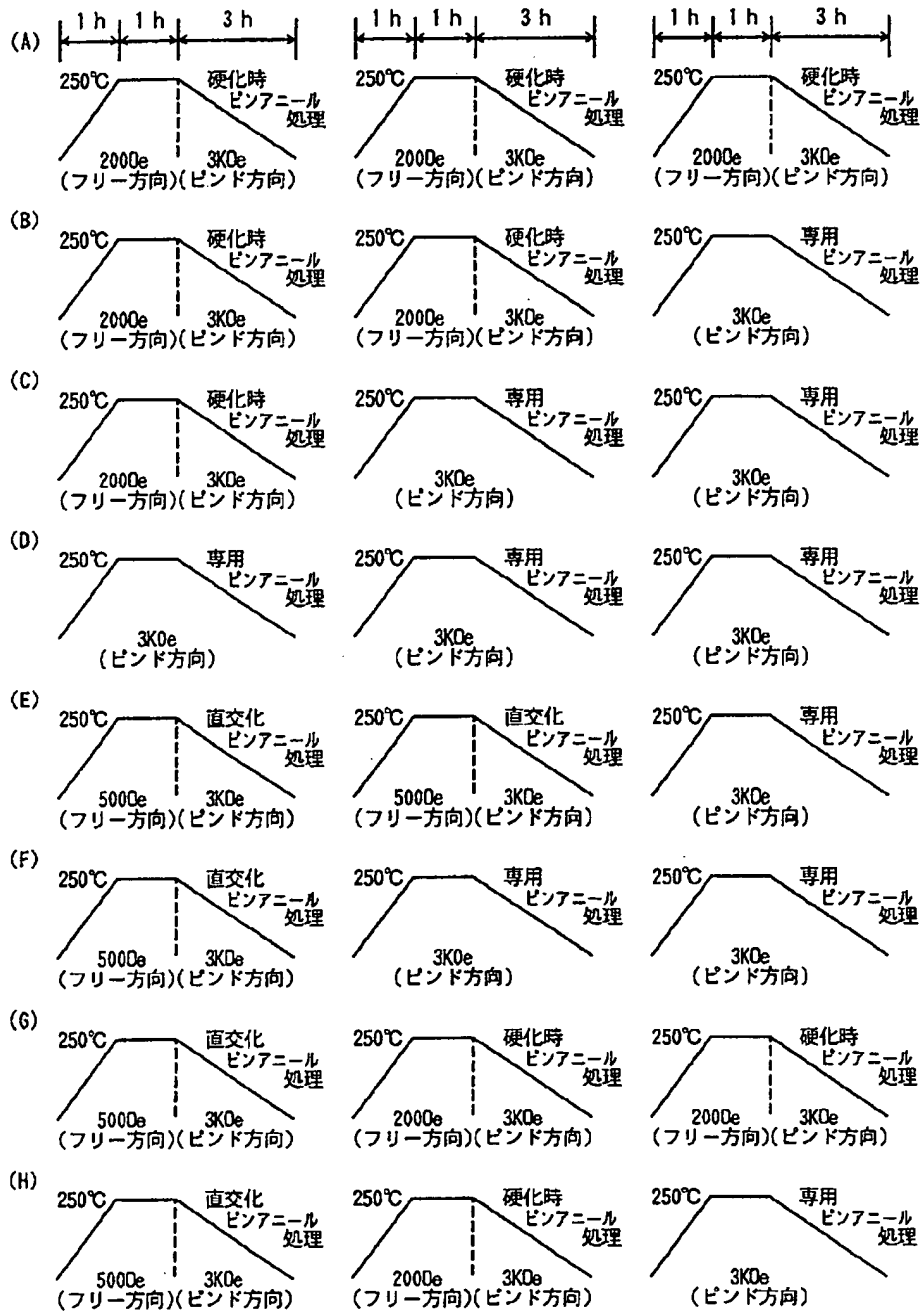
【図6】



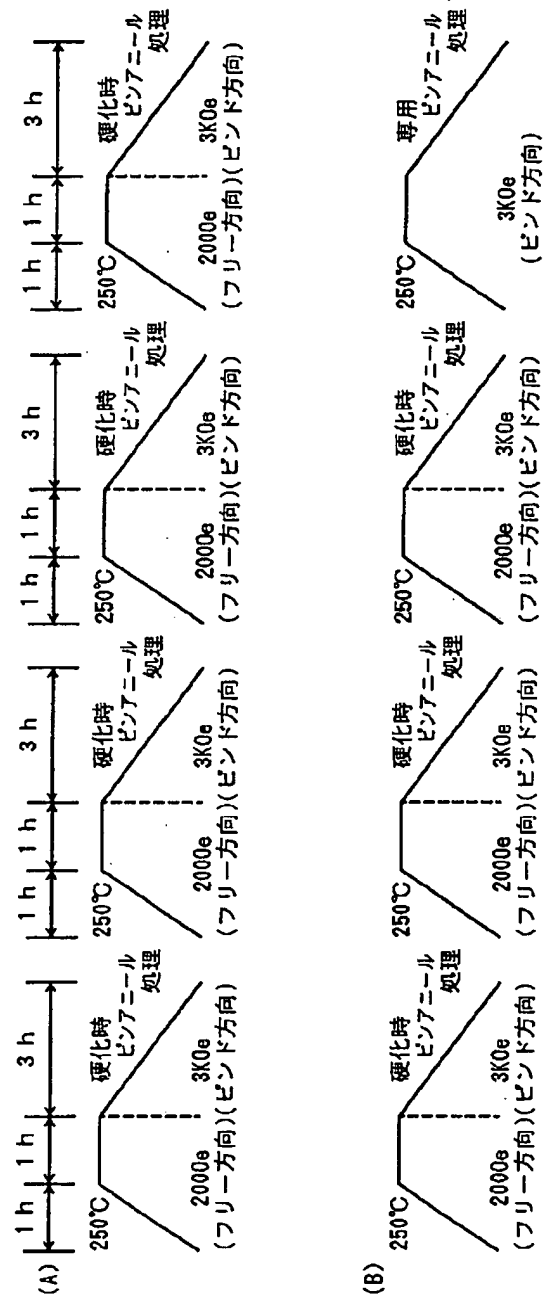
【図7】



【図3】

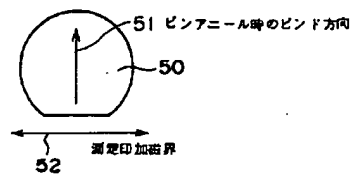


【図4】

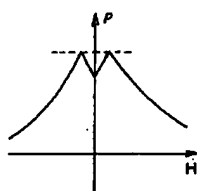


【図5】

(A)



(B)



(C)

